

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Lumbricus Rubellus*

Lumbricus rubellus adalah spesies cacing tanah yang berhubungan dengan *Lumbricus terrestris*. Biasanya cokelat kemerahan atau ungu kemerahan, bagian punggung warna-warni dan bagian perut berwarna kuning pucat. *Lumbricus rubellus* biasanya mempunyai panjang sekitar 1 sampai 4 inci (25-105 mm), dengan sekitar 95-120 segmen.



Gambar 2.1 Cacing *Lumbricus Rubellus*

(<https://cacingtanahlumbricus.files.wordpress.com/2014/06/07042009013.jpg>)

2.1.1 Penampilan

Lumbricus rubellus atau cacing tanah merah panjangnya berkisar dari 1 sampai 4 inci (25-105 mm) dan memiliki warna kemerahan, semi-transparan, fleksibel kulit halus melingkar tersegmentasi menjadi beberapa bagian. Setiap segmen berisi empat pasang setae atau bulu dan jumlah segmen per organisme jatuh tempo berkisar 95-105 (Edwards dan Lofty, 1972). Segmentasi *lumbricus rubellus* mengidentifikasi organism sebagai anggota Filum Annelida, sedangkan diperbesar segmen anterior terhadap organism yang disebut clitellum keanggotaan menunjukkan untuk kelas Clitellata. Anggota kelas ini juga didefinisikan dengan memiliki permanen gonad.

2.1.2 Habitat

Lumbricus rubellus alami tinggal di tanah bagian atas pada bahan organik (Edwards dan Lofty, 1972). *Lumbricus rubellus* memerlukan tanah yang lembab dan cukup untuk pertukaran gas (Wallwork, 1983). Persyaratan lebih lanjut termasuk faktor abiotik seperti pH dan suhu.

Berbagai factor abiotik yang signifikan untuk *Lumbricus rubellus*, Reynold mencatat bahwa pH yang dapat diterima dengan preferensi netral berkisar antara 5,5-8,7. Edwards dan Lofty mencatat bahwa temperatur juga signifikan, dengan implikasi untuk pertumbuhan, respirasi, metabolisme dan reproduksi.

Menurut para ahli suhu dan kelembaban sangat dibutuhkan oleh cacing *lumbricus rubellus* untuk aktifitas metabolisme seperti pertumbuhan respirasi dan reproduksi (Minnich, 1997). Suhu yang dibutuhkan oleh cacing jenis *lumbricus rubellus* ini sekitar 15-31°C (Radian, 1994). Menurut (Simansjuntak dan Waluyo, 1982) mengatakan bahwa kelembaban optimum bagi kelangsungan hidup cacing *lumbricus rubellus* berkisar 15-30%.

Sehubungan dengan intensitas cahaya, Edwards dan Lofty mencatat bahwa sebagian besar spesies cacing tanah *photonegative* untuk sumber cahaya yang kuat dan *photopositive* lemah sumber-sumber cahaya. Hal ini disebabkan oleh efek cahaya yang kuat, seperti pengeringan dan kurangnya sumber makanan yang ditemukan di atas tanah untuk cacing tanah (Edwards dan Lofty).

2.1.3 Perilaku

Organ *lumbricus rubellus* yang terkait dengan makanan berupa di *prostomium* yang terletak di ujung anterior dari organisme (Edwards dan Lofty, 1972). Para kemoreseptor di sini adalah sensitive terhadap alkaloid, polifenol dan asam. Tanggapan negative disebabkan asam dan alkaloid (pada tingkat tertentu), sedangkan

sensitivitas polifenol mengidentifikasi sumber makanan yang berbeda (Edwards dan Lofty, 1972). Ini melayani dan mengarahkan organisme ini dari bahaya seperti suhu atau variasi pH dan kemampuan organisme untuk mendapatkan sumber makanan.

2.1.4 Ekosistem

Lumbricus rubellus adalah saprohage yang memakan bahan organik yang dalam keadaan tinggi dekomposisi (Wallwork, 1983). Dalam ekosistem, seperti cacing *lumbricus rubellus* meningkatkan laju transfer antar tingkat trofik dengan membuatnya lebih mudah bagi tanaman untuk serapan gizi. Dalam rantai makanan, cacing *lumbricus rubellus* adalah konsumen utama yang berperan mengubah energi disintesis oleh fotosintesis tanaman menjadi makanan bagi hewan di tingkat trofik yang lebih tinggi (Wallwork, 1983).

Satu interaksi biotik yang signifikan dari hasil *lumbricus rubellus*, sehubungan dengan produksi vitamin B12 mikroorganisme seperti bakteri (Wallwork, 1983). Keberadaan cacing tanah seperti *lumbricus rubellus* meningkatkan konsentrasi vitamin B12 memproduksi mikroorganisme dan vitamin B12 di dalam tanah. Hasilnya adalah hasil jelai meningkat dan peningkatan volume bahan organik untuk cacing tanah. Dengan cara ini ada hubungan umpan balik positif antara mikroorganisme dan *lumbricus rubellus*.

2.2 Sensor DS18B20

Suhu adalah besaran yang menyatakan derajat panas dingin suatu benda atau lingkungan. Sensor suhu adalah komponen elektronika yang memiliki fungsi untuk mengubah besaran suhu menjadi besaran listrik dalam bentuk tegangan. Sensor suhu DS18B20 suhu beroperasi dalam kisaran -55°C sampai 125°C , dan memiliki tingkat keakuratan $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ dalam kisaran -10°C sampai 85°C . Sensor DS18B20 memiliki keakuratan tinggi dan kemudahan perancangan jika dibandingkan dengan sensor suhu yang lain, juga mempunyai keluaran impedansi yang rendah dan

linieritas yang tinggi sehingga dapat dengan mudah dihubungkan dengan rangkaian kendali khusus serta tidak memerlukan penyetelan lanjutan.



Gambar 2.2 Sensor Ds18b20
(<http://arduino-diy.com/pictures/79-2.jpg>)

2.3 Soil Moisture

Soil Moisture Sensor Module adalah suatu modul yang berfungsi untuk mendeteksi tingkat kelembaban tanah dan juga dapat digunakan untuk menentukan kandungan air di dalam tanah. Cara penggunaan modul ini cukup mudah, yakni dengan memasukkan sensor ke dalam tanah dan *setting potensiometer* untuk mengatur sensitivitas dari sensor. Keluaran dari sensor akan bernilai 1 atau 0 ketika kelembaban tanah menjadi tinggi atau rendah yang dapat di *threshold* dengan *potensiometer*. (Hery Setia Wardana, 2015)

Spesifikasi dari sensor ini adalah:

1. Comparator menggunakan LM393.
2. Hanya menggunakan 2 plat kecil sebagai sensor.
3. Sumber tegangan 3,3-5 VDC.
4. *Digital output* dapat secara langsung dikoneksikan dengan mikrokontroller.

Sensor ini menggunakan dua *probe* untuk melewatkan arus melalui tanah. Keluaran dari sensor kelembaban tanah ini berupa data analog. Tegangan kerja sensor yang digunakan adalah 5VDC.



Gambar 2.3 Sensor Kelembaban Tanah

(http://www.expkits.com/magaza/image/cache/data/modul/Soil_05-500x500.jpg)

2.4 Motor Direct Current (DC)

Motor listrik merupakan perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini bisa digunakan untuk memutar *impeller* pompa, kipas, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dan lain lain. Motor listrik digunakan juga di rumah dan di industri. (Sumanto, 1994)

Motor DC memerlukan suplai tegangan yang searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Kumparan medan pada motor DC disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Jika terjadi putaran pada kumparan jangkar dalam medan magnet, maka akan timbul tegangan Gaya Gerak Listrik (GGL) yang berubah-ubah arah pada setiap setengah putaran, sehingga merupakan tegangan bolak-balik. Prinsip kerja dari arus searah adalah membalik fasa tegangan dari gelombang yang mempunyai nilai positif dengan menggunakan komutator, dengan demikian arus yang berbalik arah dengan kumparan jangkar yang berputar dalam medan magnet. Bentuk motor paling sederhana memiliki kumparan satu lilitan yang bisa berputar bebas di antara kutub-kutub magnet permanen. (Yusuf Pratama, 2015)

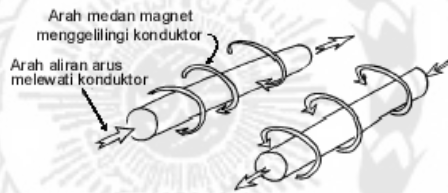


Gambar 2.4 Motor DC

(<http://www.jameco.com/Jameco/Products/MakeImag/2146505.jpg>)

2.4.1 Prinsip Dasar Cara Kerja

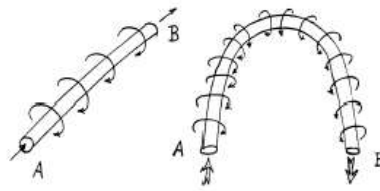
Jika arus lewat pada suatu konduktor, timbul medan magnet di sekitar konduktor. Arah medan magnet ditentukan oleh arah aliran arus pada konduktor.



Gambar 2.5 Medan magnet yang membawa arus mengelilingi konduktor

(Sumanto, 1994)

Aturan genggam tangan kanan bisa dipakai untuk menentukan arah garis fluks di sekitar konduktor. Genggam konduktor dengan tangan kanan dengan jempol mengarah pada arah aliran arus, maka jari-jari anda akan menunjukkan arah garis fluks. Gambar 2.7 menunjukkan medan magnet yang terbentuk di sekitar konduktor berubah arah karena bentuk U. (Yusuf Pratama, 2015)

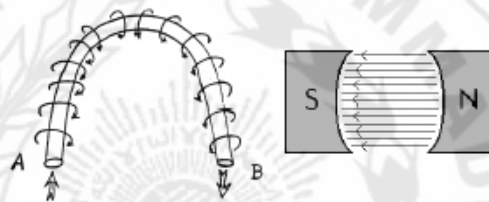


Gambar 2.6 Medan magnet yang terbentuk

(Sumanto, 1994)

Medan magnet hanya terjadi di sekitar sebuah konduktor jika ada arus mengalir pada konduktor tersebut.

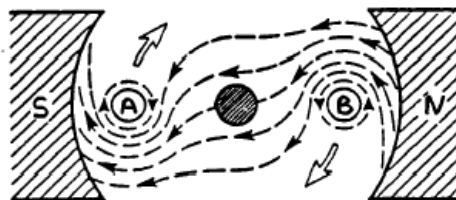
Pada motor listrik konduktor berbentuk U disebut angker dinamo.



Gambar 2.7 Medan magnet mengelilingi konduktor dan diantara kutub

(Sumanto, 1994)

Jika konduktor berbentuk U (angker dinamo) diletakkan di antara kutub utara dan selatan yang kuat medan magnet konduktor akan berinteraksi dengan medan magnet kutub. Lihat Gambar 2.9



Gambar 2.8 Reaksi garis fluks

(Sumanto, 1994)

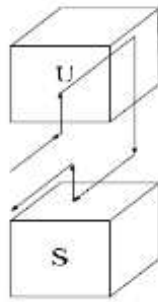
Lingkaran bertanda A dan B merupakan ujung konduktor yang dilengkungkan (*looped conductor*). Arus mengalir masuk melalui ujung A dan keluar melalui ujung B.

Medan konduktor A yang searah jarum jam akan menambah medan pada kutub dan menimbulkan medan yang kuat di bawah konduktor. Konduktor akan berusaha bergerak ke atas untuk keluar dari medan kuat ini. Medan konduktor B yang berlawanan arah jarum jam akan menambah medan pada kutub dan menimbulkan medan yang kuat di atas konduktor. Konduktor akan berusaha untuk bergerak turun agar keluar dari medan yang kuat tersebut. Gaya-gaya tersebut akan membuat angker dinamo berputar searah jarum jam.

Mekanisme kerja untuk seluruh jenis motor secara umum :

- Arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya.
- Jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran / *loop*, maka kedua sisi *loop*, yaitu pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan.
- Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar / *torque* untuk memutar kumparan.
- Motor-motor memiliki beberapa *loop* pada dinamonya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam dan medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan.

Pada motor DC, daerah kumparan medan yang dialiri arus listrik akan menghasilkan medan magnet yang melingkupi kumparan jangkar dengan arah tertentu. Konversi dari energi listrik menjadi energi mekanik (motor) maupun sebaliknya berlangsung melalui medan magnet, dengan demikian medan magnet disini selain berfungsi sebagai tempat untuk menyimpan energi, sekaligus sebagai tempat berlangsungnya proses perubahan energi, daerah tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.9 *Prinsip kerja motor DC*

(Sumanto, 1994)

Agar proses perubahan energi mekanik dapat berlangsung secara sempurna, maka tegangan sumber harus lebih besar daripada tegangan gerak yang disebabkan reaksi lawan. Dengan memberi arus pada kumparan jangkar yang dilindungi oleh medan maka menimbulkan perputaran pada motor.

Dalam memahami sebuah motor, penting untuk mengerti apa yang dimaksud dengan beban motor. Beban dalam hal ini mengacu kepada keluaran tenaga putar / *torque* sesuai dengan kecepatan yang diperlukan. Beban umumnya dapat dikategorikan ke dalam tiga kelompok :

- Beban *torque* konstan adalah beban dimana permintaan keluaran energinya bervariasi dengan kecepatan operasinya namun *torquencya* tidak bervariasi. Contoh beban dengan *torque* konstan adalah *corveyors*, *rotary kilns*, dan pompa *displacement* konstan.
- Beban dengan variabel *torque* adalah beban dengan *torque* yang bervariasi dengan kecepatan operasi. Contoh beban dengan variabel *torque* adalah pompa sentrifugal dan *fan* (*torque* bervariasi sebagai kuadrat kecepatan).
- Beban dengan energi konstan adalah beban dengan permintaan *torque* yang berubah dan berbanding terbalik dengan kecepatan. Contoh untuk beban dengan daya konstan adalah peralatan-peralatan mesin.

2.4.2 Prinsip Arah Putaran Motor

Untuk menentukan arah putaran motor digunakan kaedah Flamming tangan kiri. Kutub-kutub magnet akan menghasilkan medan magnet dengan arah dari kutub utara ke kutub selatan. Jika medan magnet memotong sebuah kawat penghantar yang dialiri arus searah dengan empat jari, maka akan timbul gerak searah ibu jari. Gaya ini disebut gaya Lorentz, yang besarnya sama dengan F .

$$\mathbf{F} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{I} \cdot \mathbf{l} \quad (2.1)$$

Dimana:

\mathbf{F} = Gaya Lorentz (N)

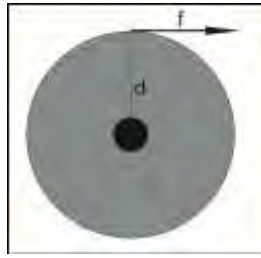
\mathbf{B} = Medan Magnet (T)

\mathbf{I} = Arus (A)

\mathbf{l} = Panjang Induktor (m)

2.4.3 Torsi

Torsi merupakan perkalian dari f gaya (beban) dengan d jari-jari (panjang lengan dari poros). Sebagai contoh, jika beban yang harus diputar sebesar 10 N dan panjang lengan adalah 10 cm maka besar torsi adalah 1 Nm. Jika ukuran beban dan panjang lengan sesuai dengan contoh di atas dan motor yang memiliki torsi maksimum sebesar 0,75 Nm maka dapat dipastikan bahwa motor tidak akan berputar. Permasalahan tersebut dapat diselesaikan dengan menggunakan kombinasi roda gigi. (Taufik, 2010)



Gambar 2.10 *Sistem torsi*

(Taufik, 2010)

2.5 Rotary Encoder

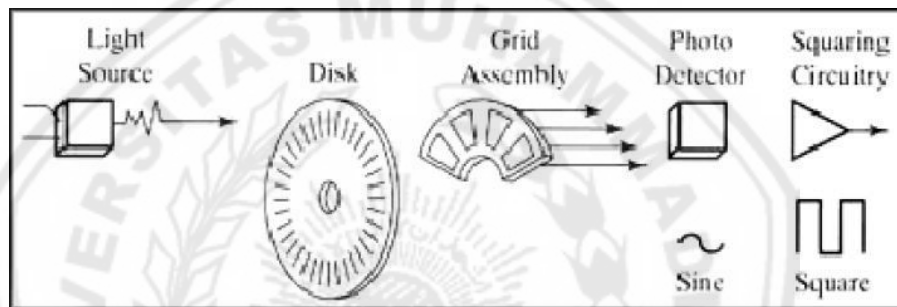
Rotary encoder adalah perangkat elektromekanik yang dapat memonitor gerakan dan posisi. Rotary encoder umumnya menggunakan sensor optik untuk menghasilkan serial pulsa yang dapat diartikan menjadi gerakan, posisi, dan arah. Sehingga posisi sudut suatu poros benda berputar dapat diolah menjadi informasi berupa kode digital oleh rotary encoder untuk diteruskan oleh rangkaian kendali. (Laboratorium Konversi Energi Elektrik)

Rotary encoder tersusun dari suatu piringan tipis yang memiliki lubang-lubang pada bagian lingkaran piringan. LED ditempatkan pada salah satu sisi piringan sehingga cahaya akan menuju ke piringan. Di sisi yang lain suatu photo-transistor diletakkan sehingga photo-transistor ini dapat mendeteksi cahaya dari LED yang berseberangan. Piringan tipis tadi dikopel dengan poros motor, atau divais berputar lainnya yang ingin kita ketahui posisinya, sehingga ketika motor berputar piringan juga akan ikut berputar. Apabila posisi piringan mengakibatkan cahaya dari LED dapat mencapai photo-transistor melalui lubang-lubang yang ada, maka photo-transistor akan mengalami saturasi dan akan menghasilkan suatu pulsa gelombang persegi. Semakin banyak deretan pulsa yang dihasilkan pada satu putaran menentukan akurasi rotary encoder tersebut, akibatnya semakin banyak jumlah lubang yang dapat dibuat pada piringan menentukan akurasi rotary encoder tersebut. (Laboratorium Konversi Energi Elektrik)

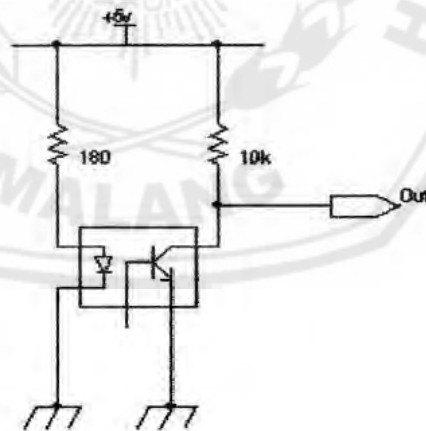


Gambar 2.11 Rotary Encoder

(http1.bp.blogspot.com-1vik2OJCp8QVa_J2ri_-3IAAAAAAAAAACFMfryY7vGuEI4s1600oibanc1375687467101.jpg)



Gambar 2.12 Blok Penyusun Rotary Encoder
(Laboratorium Konversi Energi Elektrik)



Gambar 2.13 Rangkaian Tipikal Penghasil Pulsa Pada Rotary Encoder
(Laboratorium Konversi Energi Elektrik)

Terdapat dua jenis *rotary encoder* yang digunakan, *absolute rotary encoder* dan *incremental rotary encoder*.

Persamaan kecepatan benda:

$$V = \omega \times r \quad (2.2)$$

$$V = 2\pi f \times r \quad (2.3)$$

$$V = f \times 2\pi r \quad (2.4)$$

Karena pada gerak putar, $f = \text{rps}$ (2.5)

$$V = \text{rps} \times 2\pi \quad (2.6)$$

Dengan,

V = kecepatan benda (m/s)

f = frekuensi putaran gerak benda (hz)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

rps = jumlah 1 rotasi per detik

r = jari – jari (m)

persamaan frekuensi putaran piringan optic dengan banyak celah:

$$\text{rps} = \frac{f2}{M} \quad (2.7)$$

dengan,

rps = jumlah 1 rotasi per detik

$f2$ = jumlah pulsa dalam 1 detik dengan 1 putaran banyak celah

M = celah maksimum

Persamaan kecepatan Rotary Encoder:

$$V = \frac{f2}{M} 2\pi r \quad (2.8)$$

2.6 Motor Servo

Motor servo adalah motor DC yang dilengkapi dengan sistem kontrol. Sistem kontrol ini akan memberikan umpan balik posisi perputaran motor. Terdapat dua jenis servo yaitu servo 180° dengan putaran dari 0° hingga 180° dan servo *continuos* dengan putaran 360°. Selain itu motor servo juga memiliki torsi relatif cukup kuat. Sistem pengkabelan motor servo terdiri atas 3 bagian, yaitu Vcc, Gnd, dan Kontrol (PWM= *Pulse Width Modulation*). Pemberian PWM pada motor servo akan membuat servo bergerak pada posisi tertentu dan kemudian berhenti (control posisi). (Giant, R.F., dkk, 2015).

Motor servo TowerPro MG996R adalah sebuah motor servo yang memiliki torsi 9,60 - 11 Kg/Cm dengan tegangan operasi 4,8 – 6 Volt.



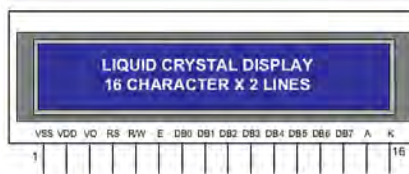
Gambar 2.14 Motor Servo TowerPro MG996R

(<http://robotechshop.com/wp-content/uploads/2015/12/Servo-996r.jpg>)

2.7 Liquid Crystal Display (LCD)

Liquid Crystal Display (LCD) adalah sebuah device untuk menampilkan sebuah karakter yang didapat dari pengontrolan refleksi cahaya. Sumber cahaya tersebut akan sangat redup dibandingkan dengan cahaya matahari atau cahaya kamar biasa. Pada prakteknya LCD mempunyai penguatan yang sangat lemah karena LCD sedikit memakai energy listrik. Oleh karena itu, LCD berbeda dengan *Light Emitting Diode* (LED) yang dapat terlihat terang, sedangkan LCD akan sulit terlihat pada tempat yang gelap atau redup. (Venti Nuryati, 2010)

LCD memiliki bermacam ukuran mulai 1 sampai 4 baris, 16 sampai 40 karakter per baris. Meskipun LCD memiliki bermacam ukuran tetapi penggunaanya standar. Pada umumnya LCD memiliki 16 pin yang terbagi atas jalur data, kontrol, *power* dan *backlight*. (Venti Nuryati, 2010)



Gambar 2.15 Konfigurasi pin LCD

(royesta.files.wordpress.com/2014/11/konfigurasi-pin-2x16.png?w=511)

Pada umumnya LCD banyak digunakan pada kalkulator. Oleh karena sifat dari LCD yang membutuhkan tegangan kecil dan desipasi yang kecil pula. Faktor lainnya adalah memudahkan untuk besar perubahan karakter dan bentuknya yang dapat membuat suatu produk relative murah. (Venti Nuryati, 2010)



Gambar 2.16 Modul LCD Karakter 16x2

(cdn.instructables.com/FUX/7IV0/IDK2K86Q/FUX7IV0IDK2K86Q.MEDIUM.jpg)

Adapun fungsi masing-masing konfigurasi pin-pin pada LCD 16x2 ditunjukkan pada table berikut:

Tabel 2.1 Pin-pin LCD

No. Pin	Simbol	Level	Fungsi
1	VSS	GND	Ground
2	VDD	+5V	Tegangan Supply LCD
3	VEE		Pengaturan kontras LCD
4	RS	H/L	Register Select, H=baca, L=instruksi
5	R/W	H/L	Read/Write, H=baca, L=tulis
6	E	Pulsa L-H-L	Enable Signal
7	DB0	H/L	Data Bit 0
8	DB1	H/L	Data Bit 1
9	DB2	H/L	Data Bit 2
10	DB3	H/L	Data Bit 3
11	DB4	H/L	Data Bit 4
12	DB5	H/L	Data Bit 5
13	DB6	H/L	Data Bit 6
14	DB7	H/L	Data Bit 7
15	A(+)	+5V	Led Backlight(+)
16	A(-)	0v	Led Backlight(-)

Sumber: Venti Nuryati, 2010

Jalur control LCD terdiri dari:

- *Register Select Control (RS)*. Jika RS berlogika 0 maka akan terjadi proses menulis instruksi register. Dan sebaliknya, jika RS berlogika 1 maka akan terjadi proses membaca status *busy flag* dan alamat *counter* LCD.
- *Enable Control (E)*. Merupakan sinyal awal untuk membaca atau menulis LCD. Proses transaksi data atau *command* terjadi saat transisi E dari logika 1 ke logika 0.
- *Read atau Write Control (R/W)*. Pada saat R/W berlogika 0 terjadi proses menulis dan saat berlogika 1 terjadi proses membaca.

2.7.1 Prinsip Kerja LCD

Proses *display* karakter pada LCD diatur oleh pin E, RS dan RW. Jalur E dinamakan *Enable*. Jalur ini digunakan untuk memberitahukan LCD bahwa sedang mengirimkan sebuah data. Untuk mengirimkan data ke LCD, maka melalui program, E harus dibuat logika “0” dan kemudian *setting* pada dua jalur kontrol yang lain yaitu RS dan RW. Ketika dua jalur yang lain telah siap, set kaki E dengan logika “1” dan tunggu untuk beberapa waktu tertentu (sesuai dengan *datasheet* dari LCD tersebut) dan berikutnya set kaki E ke logika “0” lagi. (Venti Nuryati, 2010)

Jalur RS adalah jalur *Register Select*. Ketika RS berlogika “0”, data akan dianggap sebagai sebuah perintah. Ketika RS berlogika “1”, data yang dikirim adalah data *text* yang akan ditampilkan pada *display* LCD. Sebagai contoh, untuk menampilkan huruf “T” pada layar LCD maka RS harus di set logika “1”. Jalur RW adalah jalur kontrol *Read/Write*. Ketika RW berlogika “0”, maka informasi pada bus data akan dituliskan pada layar LCD. Ketika RW berlogika “1”, maka program akan melakukan pembacaan memori dari LCD. Sedangkan pada aplikasi umum pin RW selalu diberi logika “0”, hal ini dilakukan untuk menset agar informasi selalu dituliskan ke LCD. Kemudian, bus data terdiri dari 4 atau 8 jalur. Pada kasus bus data 8 bit, jalur diacukan sebagai DB0 sampai DB7. (Venti Nuryati, 2010)

2.7.2 Register LCD

Pada LCD ini mempunyai dua buah Register yaitu register perintah dan register data, yang aksesnya diatur dengan menggunakan kaki RS. Pada saat RS berlogika “0”, maka register yang diakses adalah Register Perintah dan pada saat RS berlogika “1”, maka register yang diakses adalah Register Data. (Venti Nuryati, 2010)

2.8 Teori Kontroler *Proporsional Integral Derivative* (PID)

Pengendali PID merupakan gabungan dari tiga sistem kendali yang bertujuan untuk mendapatkan keluaran dengan *risetime* yang tinggi dan galat yang kecil. Seperti yang kita ketahui bahwa sistem kendali Proporsional memiliki keunggulan yaitu *risetime* yang cepat tetapi sangat rentan dengan *overshot*, sistem kendali Integral memiliki keunggulan untuk meredam galat, sedangkan sistem kendali Derivatif memiliki keunggulan untuk memperkecil *delta error* atau *overshot*. PID berdasarkan implementasinya dibedakan menjadi analog dan digital, PID analog diimplementasikan dengan komponen elektronika resistor, kapasitor dan operational amplifier, sedangkan PID digital diimplementasikan secara program. (Muhammad Luky Harianto, 2012)

PID digital pada dasarnya merupakan suatu proses dari suatu program yang dijalankan dengan menggunakan computer. Dalam prosesnya nilai yang kita masukkan (*setting point*) dan nilai hasil pembacaan sensor saat ini (*present value*) diproses sehingga galat yang didapatkan sama dengan 0 atau nilai *setting point* sama dengan *present value*. Untuk dapat mengimplementasikan kendali PID pada sistem digital, maka PID harus diubah kedalam persamaan diskrit. (Muhammad Luky Harianto, 2012)

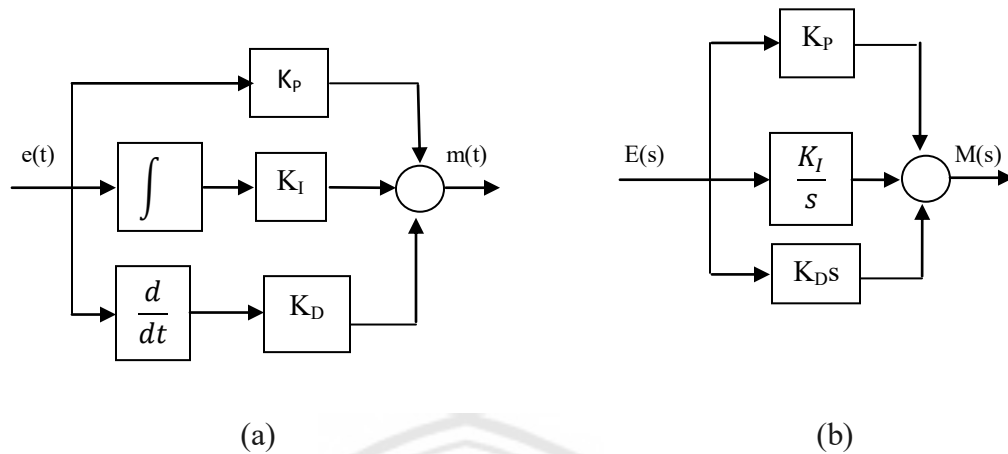
Kontroler PID merupakan kontroler yang banyak digunakan dalam sistem kontrol industri. Perhatikan diagram blok yang diperlihatkan gambar 2.17(a), sinyal keluaran PID didefinisikan sebagai berikut:

$$m(t) = K_P e(t) + K_I \int e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2.8)$$

Dengan alih ragam Laplace dapat diperoleh fungsi alih kontroler PID sebagai berikut:

$$G_C(s) = \frac{M(s)}{E(s)} = K_P + K_D s + \frac{K_I}{s} \quad (2.9)$$

Diagram balok kontroler PID diperlihatkan dalam gambar 2.17(b).



Gambar 2.17 Diagram blok kontroler PID

Biasanya ketiga konstanta kontroler tidak perlu digunakan semuanya untuk mencapai spesifikasi yang diinginkan. Penggunaan konstanta tergantung spesifikasi yang dikehendaki, misalnya dengan kontroler PI telah terpenuhi spesifikasi, maka kita membuat $K_D = 0$. (Ermanu Azizul Hakim, 2012)

2.8.1 Kontroler *Proporsional*

Kontroler *proporsional* (P) adalah kontroler dengan penguatan murni K_P . persamaan karakteristik system lup tertutup dengan kontroler P adalah $1 + K_P G(s)H(s) = 0$.

Kontroler P ini digunakan dalam keadaan yang mana tanggapan peralihan (transien) yang diinginkan dipenuhi cukup dengan menyetel penguatan sistem saja. (Ermanu Azizul Hakim, 2012)

2.8.2 Kontroler *Proporsional Integral* (PI)

Kontroler PI memiliki fungsi alih sebagai berikut:

$$G_c(s) = K_P + \frac{K_I}{s} \quad (2.11)$$

Kontroler ini memiliki sebuah *pole* pada titik pusat dan *zero* pada $-K_I/K_P$. Karena *pole* sangat dekat dengan titik pusat dibanding dengan *zero*, maka kontroler ini termasuk kompensator fasa-tertinggal dan kontroler menambah sudut negatif terhadap kriteria sudut Tempat Kedudukan Akar (TKA). Oleh Karena itu, kontroler PI digunakan untuk memperbaiki tanggapan keadaan mantap sistem. (Ermanu Azizul Hakim, 2012)

2.8.3 Kontroler *Proporsional Derivative* (PD)

Kontroler PD memiliki fungsi alih sebagai berikut:

$$G_c(s) = K_P + K_D s = K_D \left(s + \frac{K_P}{K_D} \right) \quad (2.12)$$

Kontroler PD ini memberikan tambahan *zero* tunggal pada $s = -K_P/K_D$ ke sistem, tentu hal ini akan menambah sudut fasa terhadap sistem. Jadi kontroler PD termasuk kompensator fasa-mendahului dan memperbaiki tanggapan peralihan sistem. (Ermanu Azizul Hakim, 2012)

2.8.4 Kontroler PID

Kontroler PID dimasukkan dalam system kontroler pada saat diinginkan perbaikan tanggapan peralihan maupun tanggapan keadaan mantap. Fungsi alih kontroler PID ditulis sebagai berikut:

$$G_c(s) = K_P + K_D s + \frac{K_I}{s} = \frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{s} \quad (2.13)$$

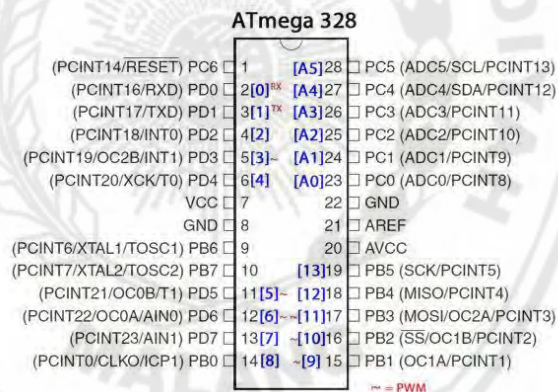
Kontroler PID memiliki dua *zero* dan satu *pole*. Salah satu metode yang digunakan untuk merancang kontroler PID adalah merancang bagian PI untuk memberikan tanggapan keadaan mantap yang memuaskan selanjutnya kontroler PI ini dianggap sebagai bagian dari proses dan bagian PD dirancang untuk memperbaiki tanggapan peralihan. (Ermanu Azizul Hakim, 2012)

2.9 ATmega328

Mikrokontroler merupakan sebuah sistem mikroprosesor dimana di dalamnya sudah terdapat Central Proccesssing Unit Access Memory Only Memori yang sudah saling terhubung terorganisasi dengan baik oleh pabrik pembuatnya dan dikemas dalam satu chip yang siap pakai. Umumnya mikrokontroler memiliki instruksi manipulasi bit, akses ke I/O secara langsung serta proses interupsi yang cepat dan efisien. Penggunaan mikrokontroler sudah banyak ditemui dalam berbagai peralatan elektronik, seperti telepon digital, microwave oven, televisi, dan lain-lain. Mikrokontroller juga dapat digunakan untuk berbagai aplikasi dalam industri. (Arduino,9Januari2015).

2.9.1 Konfigurasi Pin

Konfigurasi pin mikrokontroller ATmega328 adalah sebagai berikut:



ATmega 328

(PCINT14/RESET) PC6	1	[A5]28	PC5 (ADC5/SCL/PCINT13)
(PCINT16/RXD) PD0	2[0] ^{PA}	[A4]27	PC4 (ADC4/SDA/PCINT12)
(PCINT17/TXD) PD1	3[1] ^{PA}	[A3]26	PC3 (ADC3/PCINT11)
(PCINT18/INT0) PD2	4[2]	[A2]25	PC2 (ADC2/PCINT10)
(PCINT19/OC2B/INT1) PD3	5[3]	[A1]24	PC1 (ADC1/PCINT9)
(PCINT20/XCK/T0) PD4	6[4]	[A0]23	PC0 (ADC0/PCINT8)
VCC	7	22	GND
GND	8	21	AREF
(PCINT6/XTAL1/TOSC1) PB6	9	20	AVCC
(PCINT7/XTAL2/TOSC2) PB7	10	[13]19	PB5 (SCK/PCINT5)
(PCINT21/OC0B/T1) PD5	11[5]	[12]18	PB4 (MISO/PCINT4)
(PCINT22/OC0A/AIN0) PD6	12[6]	[11]17	PB3 (MOSI/OC2A/PCINT3)
(PCINT23/AIN1) PD7	13[7]	[10]16	PB2 (SS/OC1B/PCINT2)
(PCINT0/CLKO/ICP1) PB0	14[8]	[9]15	PB1 (OC1A/PCINT1)

PA = PWM

Gambar 2.18 Pin ATmega328

(Arduino, 9 Januari 2015)

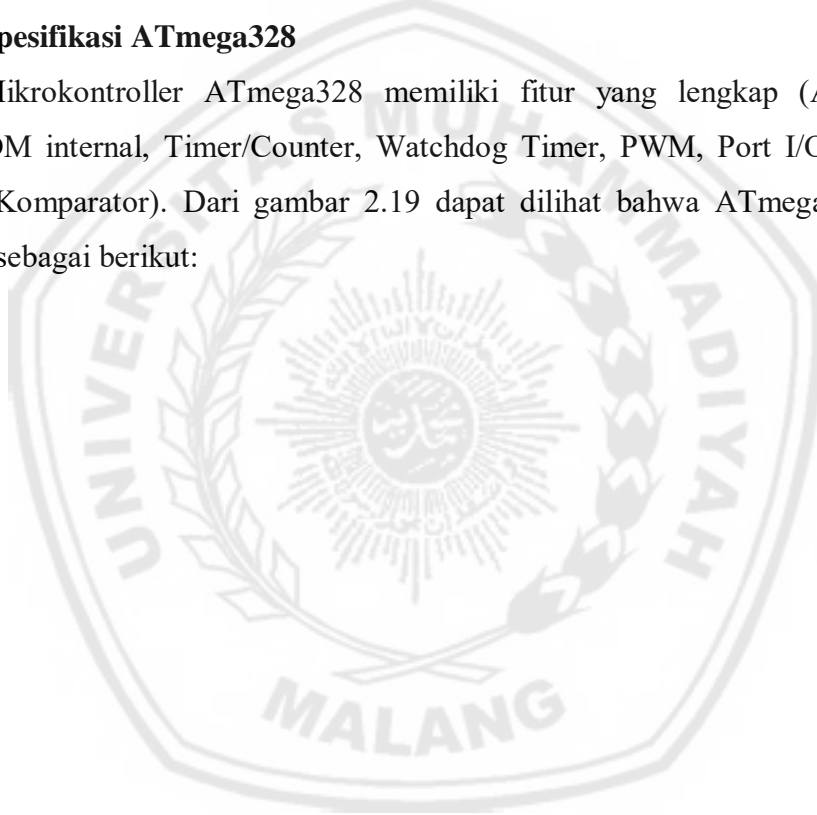
Untuk melihat konfigurasi ATmega328 dapat dilihat pada gambar 2.18 sebagai berikut:

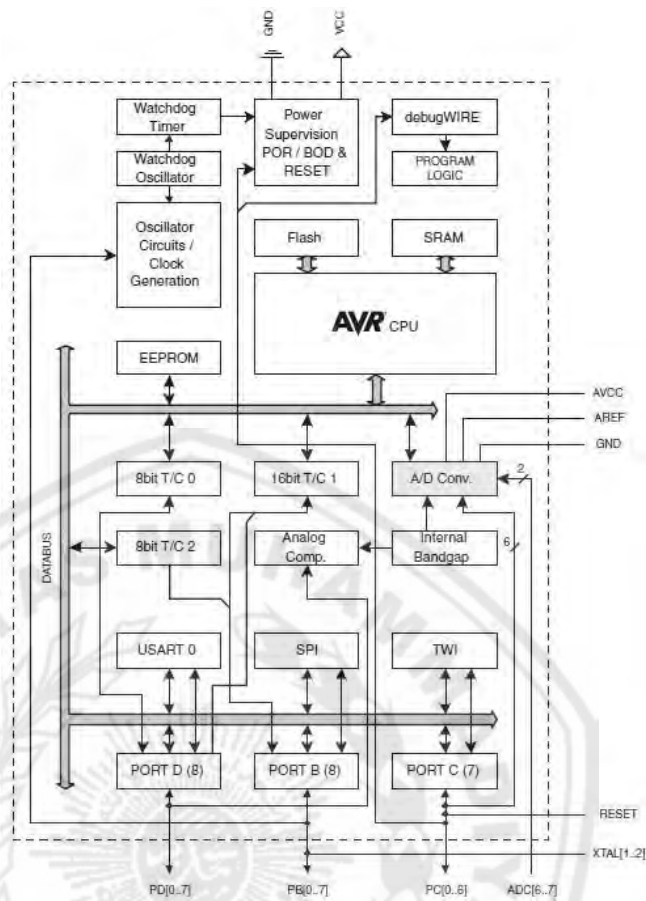
- VCC merupakan pin yang digunakan sebagai masukan sumber tegangan
- GND merupakan pin untuk Ground

- c. Port B (PBO:PB7) XTAL 2/TOSC1/TOSC2 merupakan port I/O dengan internal pull-up resistor. Untuk XTAL digunakan sebagai pin external clock
- d. Port C (PCO:PC6) merupakan pin I/O dan merupakan pin masukan ADC. Terdapat juga pin RESET yang digunakan untuk mengembalikan kondisi mikrokontroller seperti semula
- e. Port D (PDO:PD7) merupakan pin I/O sinyal analog
- f. AVCC adalah pin masukan untuk tegangan ADC
- g. AREF adalah pin masukan untuk tegangan referensi eksternal ADC

2.9.2 Spesifikasi ATmega328

Mikrokontroller ATmega328 memiliki fitur yang lengkap (ADC internal, EEPROM internal, Timer/Counter, Watchdog Timer, PWM, Port I/O, Komunikasi serial, Komparator). Dari gambar 2.19 dapat dilihat bahwa ATmega328 memiliki bagian sebagai berikut:





Gambar 2.19 Diagram Blok Fungsional ATmega328

(Arduino, 9 Januari 2015)

- a. Saluran I/O sebanyak 23 buah, yaitu Port B, Port C dan Port D
- b. ADC 10 bit sebanyak 6 saluran
- c. Tiga buah Timer/Counter dengan kemampuan pembandingan
- d. CPU yang terdiri atas 32 buah register
- e. Watchdog Timer dengan osilator internal
- f. SRAM sebesar 1 Kbyte
- g. Memori flash sebesar 32 Kbyte dengan kemampuan Read While Write
- h. Unit interupsi internal dan eksternal
- i. Port antarmuka SPL
- j. 6 PWM channel

- k. Tegangan kerja 1,8 sampai 5,5 V
- l. Range suhu -40°C sampai 85°C
- m. Terdapat 28 pin PDIP
- n. Konsumsi daya rendah saat 1 Mhz; 1,8V; 25°C untuk ATmega328

